

## 중 SLIT형 케이슨 방파제의 반사특성 Reflection Characteristics of Vertical Slit Caisson Breakwater

이종인\* · 조지훈\*

Jong-In Lee\* and Ji-Hoon Cho\*

**요 旨** : 최근 우리나라에서는 slit형 케이슨을 적용한 방파제 건설이 시도되고 있다. slit형 케이슨 방파제는 수심이 비교적 깊은 해역에 적절하며, 다수의 실험적·이론적 연구가 수행되었다. 본 연구에서는 불규칙파를 적용한 2차원 수리모형실험을 실시하여 중 slit형 케이슨 방파제의 반사특성을 검토하였다. 실험은 단일 유수실과 이중 유수실을 가지는 중 slit형 케이슨 방파제에 대해 유공율, 유수실의 폭 및 slit의 수 등을 달리한 여러 가지 실험안을 설정하여 수행하였다. 실험결과에 의하면, 파형경사가 작을수록 반사율은 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 규칙파를 적용한 기존 연구결과에 의하면 상대유수실 폭 ( $B/L_s$ )이 0.2~0.25 부근에서 최소 반사율을 보였으나, 불규칙파를 적용한 본 연구에서는  $B/L_s=0.13\sim 0.15$  범위에서 최소의 반사율을 보였다. 또한 동일한 유공율 조건에서 slit의 폭이 클수록 반사율이 낮게 나타났으며, 전체적으로 단일 유수실보다 이중 유수실의 경우가 소파효과가 우수하였다.

**핵심용어** : 수리모형실험, 불규칙파, 중 slit 케이슨 방파제, 반사계수, 유수실

**Abstract** □ Recently, some attempts to construct slit caisson-type breakwaters are made in Korea. Since slit caisson-type breakwaters are suitable for relatively deep sea areas, a lot of theoretical and experimental researches have been performed. In this study, the reflection characteristics of vertical slit caisson breakwaters are investigated based on the measured data in two-dimensional hydraulic model tests with irregular waves. The experiments were conducted for various cases; variation of porosity of perforated-wall, width of wave chamber, number of slits for single- and double-chamber, respectively. It is found that in the case when the wave steepness ( $H/L_s$ ) is small, the reflection coefficients are large. The existing researches have shown that the wave reflection is minimized when the nondimensional width of wave chamber  $B/L$  is about 0.2~0.25 for the regular waves. However, for the irregular waves the reflection is lowest when  $B/L_s$  is 0.13~0.15. For a same porosity condition, the wave dissipation is stronger as the width of slit is larger. The double-chamber caisson is superior to single-chamber caisson in the wave dissipating effects.

**Keywords** : hydraulic model test, irregular waves, vertical slit caisson breakwater, reflection coefficient, wave chamber

### 1. 서 론

해안역의 개발 및 이용과 관련하여 여러 형태의 구조물 설치를 고려할 수 있지만 가장 중요한 구조물은 방파제라 할 수 있다. 방파제는 파랑 등과 같은 해양외력이 항내로 침입하는 것을 방지하거나 최소화하는 것을 목적으로 설치되는 연안구조물로서, 이상시 선박의 피항, 안정

한 정박, 승객과 화물의 신속하고 안전한 이송 등을 원활하게 하는 데 요구되는 항만 내부의 정온을 유지하기 위해 설치된다. 방파제의 형식에는 경사식 방파제, 직립식 방파제, 혼성 방파제 이외에도 여러 가지 형태가 있으며, 특수한 형태의 방파제 중 하나인 유공방파제는 일반적인 직립식 방파제와는 달리 전면부가 개방되어 있고, 내부를 골재 등으로 채우지 않은 빈 공간으로 해수가 드나들 수 있

\*한국건설기술연구원 수자원환경연구부(Water Resources and Environmental Division, Korea Institute of Construction Technology, Kyounggi 411-712, Korea)

도록 되어 있는 구조이다. 유공방파제는 1961년 캐나다의 Jarlan이 음파의 반사이론을 방파제 설계에 적용하여 개발되었으며, 그 후 현재까지 유공방파제에 대한 이론적·실험적 연구가 활발히 진행되어 왔다.

유공방파제의 장점 중 하나는 직립식 형태의 단면이면서 유공부에 의한 소파효과로 방파제 전면의 파고가 무공 직립식의 경우에 비해 작다는 것이다. 이것은 유공방파제의 유공부를 통과하면서 수두손실이 발생하고, 유수실 내에서도 추가로 에너지가 감쇠되어 반사율이 저감되기 때문이다. 기존 연구에 의하면 유공방파제의 파력 및 반사율과 전달율에 영향을 미치는 요소로는 유공율, 유수실의 수, 유공벽의 두께, 유수실의 폭, slit의 폭, 입사하는 파랑의 주기와 파고 등을 들 수 있다. 일반적으로 유공방파제는 소정의 형태에 대해 최소의 반사율이 측정되는 주기가 존재하며, 규칙파의 경우에 유수실의 폭과 입사파 파장의 비(B/L)는 0.2~0.25 범위이고, 전면벽 유공율의 최적치는 15%~30% 범위인 것으로 알려져 있다. 유공율은 유공판 전체면적에서 유공부의 면적이 차지하는 비율을 나타내며, 파력, 반사율 및 전달율의 크기와 연관이 있다. 유공방파제에 대한 기존의 이론적·실험적 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

Fugazza와 Natale(1992)은 다중유수실의 유공케이슨 방파제에 대한 반사율 산정공식을 유도하고, 규칙파를 적용하여 B/L=0.25에서 최소 반사율이 나타남을 보였다. Suh와 Park(1995)은 Galerkin 고유함수법을 이용하여 사석 마운드 위에 위치한 유공케이슨 방파제에 일정 각도로 입사하는 파에 대한 반사특성을 연구하였으며, 해석결과는 수리모형실험 결과와 비교하였다. Williams 등(2000)은 유공 1실과 유공 2실, 전면벽이 유공형 또는 slit형인 유공케이슨 방파제에 대한 간략 해석해를 선형파이론을 이용하여 유도하였다. 국내연구로서 편종근(1980)은 삼중유공벽식 케이슨 방파제와 Jarlan형에 대하여 각각의 유공벽에 작용하는 파력에 대한 실험을 수행하였으며, 파력의 크기는 주기보다는 파고의 영향을 많이 받고, 유공간벽 보다는 전면벽과 후면벽에서 파력이 크게 작용함을 보였다. 또한 전면벽의 유공율이 작고, 입사파의 파형경사가 커질수록 전면벽에 작용하는 파력의 크기가 증가함을 밝혔다. 이용규 등(1986)은 파력의 이론적 연구에 있어 산란파 항을 추가하였으나 파력의 크기에는 거의 영향을 미치지 못한다고 하였다. 또한 원형 유공부의 지름에 비하여 벽두께가 두꺼워져 유공부 내에서의 흐름이 관수로 흐름으로 볼 수 있는 영역에 이르면 유공벽에 작용하는 파력의 크

기가 급격히 증가함을 실험을 통하여 입증하였다. 안익성(1992)은 혼성제 형식의 유공방파제와 방파제 전면 소파블록을 피복한 방파제 및 무공 직립 케이슨을 이용한 방파제 단면을 이용하여 실험을 실시하였다. 실험결과에 의하면 소파블록을 피복한 방파제, 유공 방파제, 무공 직립식 방파제 순으로 반사파 저감효과가 좋은 것으로 나타났다. 그리고 유수실의 상부를 개방한 경우가 폐쇄한 경우보다 낮은 반사율이 나타남을 보였다.

유공방파제는 입사하는 파랑의 조건에 따라 반사율의 크기가 크게 달라지므로, 방파제와 파랑의 제원에 따른 반사율의 특성을 파악하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 종 slit형 유공방파제의 반사율을 실제현장에서 사용될 수 있는 형태로 제작된 모형에 대해 불규칙파를 적용하여 산정하였다. 이러한 실험결과는 유공율과 유수실 폭이 다른 각각의 경우에 대한 상대적인 반사율의 변화를 추정하는데 이용되어질 수 있다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 길이 50m, 높이 1.5m, 폭 1.2m의 조파수로에서 실험을 실시하였다. 수로의 한쪽 끝에는 피스톤형 조파장치가 설치되어 있으며, 반대편에는 소파시설이 설치되어 있고, 수로의 가운데 지점에서부터 조파장치 반대 방향으로 구조물 위치까지 1/50의 경사부가 설치되어 있다. 반사율은 2개의 파고계를 이용하여 입사파와 반사파를 분리하는 Goda와 Suzuki(1976)방법을 사용하였다. 반사율 분석을 위한 파고계 간격은 Goda와 Suzuki가 제시한 반사율 분석 유효주파수 범위에 들도록 입사주기별로 서로 다르게 설정하였으며, 구조물로부터 충분히 떨어진 거리에 설치하여 입사파와 반사파의 위상간섭의 영향을 최소화하였다. 그리고 실험모형은 조파판으로부터 36.5m 떨어진 곳에 설치하였다(Fig. 1참조).

본 연구에서 수행한 반사특성 실험은 slit부가 향내측에 건설되는 것을 가정하였으며, 입사파의 유의파고( $H_s$ )를 2cm와 4cm로 설정하여 수행하였다. 실험파는 Bretschneider-Mitsuyasu 스펙트럼을 이용한 불규칙파를 적용하여 설정하였으며, 각 파고별로 0.8 sec~2.4 sec의 유의주기( $T_s$ )를 가지는 파를 조파하여 반사율을 분석하였다. 모형이 설치되는 곳의 실험수심은 경사면 수로바닥에서부터 50cm로 설정하였으며, 작은 파고의 실험파를 사용하였기 때문에 월파와 쇄파는 발생하지 않는다. Table 1은 반사율 분석 실험에 사용된 실험파의 제원이다.

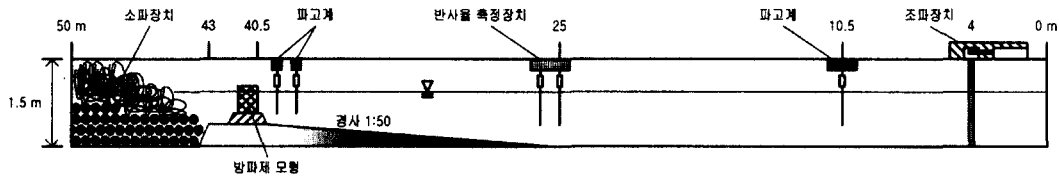


Fig. 1. Installation of model structure and wave flume.

Table 1. Wave conditions of hydraulic model test

H <sub>s</sub> (m)	원형	모형	T <sub>s</sub> (sec)
	T <sub>s</sub> (sec)	H <sub>s</sub> (cm)	
0.6, 1.2	4.38	2, 4	0.8
	4.93		0.9
	5.48		1.0
	6.57		1.2
	7.67		1.4
	8.76		1.6
	9.86		1.8
	10.95		2.0
	12.05		2.2
	13.15		2.4

실험파를 설정하기 위한 구조물 위치에서의 입사파는 zero-upcrossing 방법을 이용하여 주기와 파고를 분석하였다. 실험파는 600 sec(유의주기 1.4 sec 기준 429파에 해당) 동안 불규칙파를 조파하여 12,000개의 자료를 독취한 후,

반부의 8,192개의 자료에 해당하는 410 sec(유의주기 1.4 sec 기준 293파에 해당) 동안의 독취자료로부터 실험파의 파고와 주기를 분석하였다. 본 실험에 사용된 계측장비인 용량식 파고계의 독취율은 20 Hz이다. 반사율은 실험파 설정방법과 동일한 조건 및 방법으로 분석하였다. 본 실험 시 구조물에 의한 반사파가 조파판에 의해 반사되어 입사파고가 증폭되는 것을 방지하기 위하여 조파기의 흡수 기능을 사용하였다.

Fig. 2는 실험모형의 단면도로서 바닥에 10 cm 높이의 블록을 설치하고, 전면에는 사석을 쌓아 놓아 실제 현장에서 적용되는 방파제와 유사한 형태가 되도록 하였다. 방파제 모형은 1 cm 두께의 아크릴수지로 제작하였으며, 모형재료가 투명하기 때문에 케이스 내부에서의 수면거동 등을 관찰할 수 있다. 유공율이 다른 각각의 유공벽은 나사못으로 케이스 틀에 조립하도록 제작되어 유공율(E), 유수실 수, 유수실 폭(B) 및 slit 수(N)가 다른 다양한 경우에 대하여 실험을 수행할 수 있도록 하였다. 15 cm 간격으로 총 4개의 벽을 설치할 수 있으므로, 유

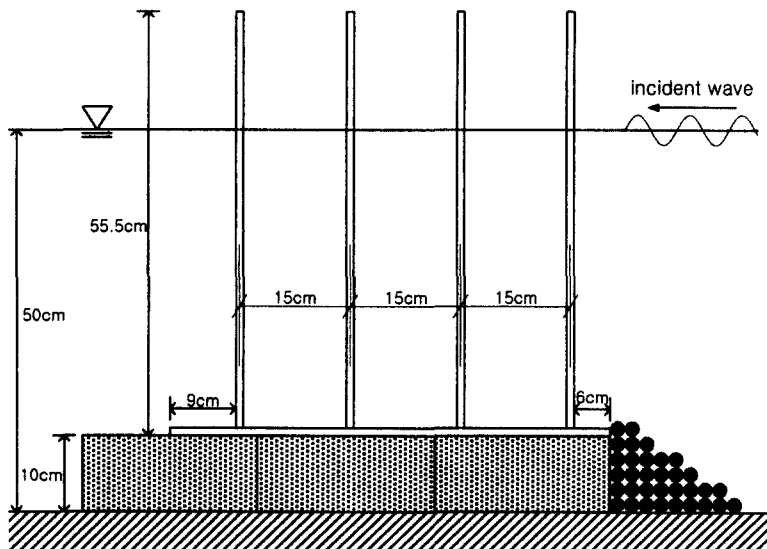


Fig. 2. Model structure.

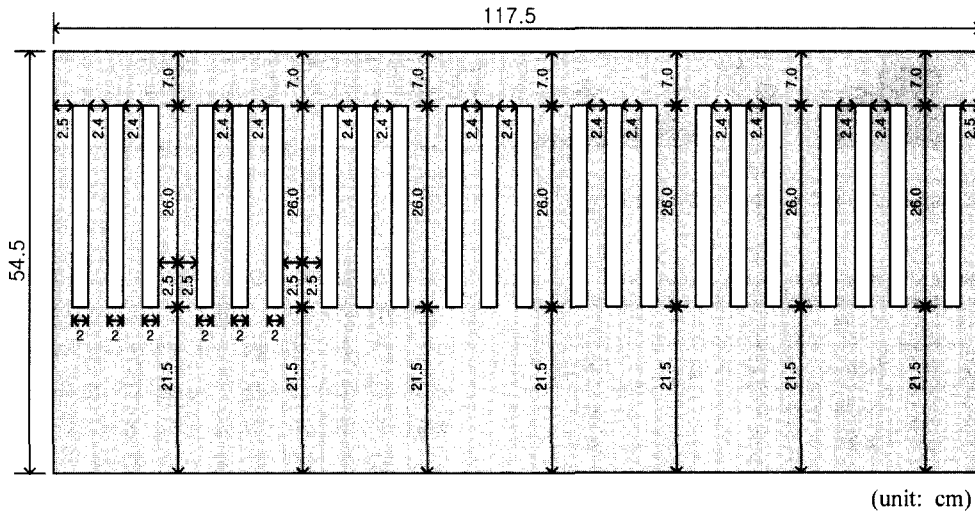


Fig. 3. A case of perforated-wall model( $E=40\%$ ,  $N=3$ ).

수실의 폭은 15 cm~45 cm까지 조정이 가능하다. 실험에 사용된 유공케이스 방파제 모형의 마루높이는 바닥에서부터 65.5 cm, 수면으로부터 15.5 cm에 위치하며, 중 slit의 유공부는 바닥에서부터 하단고는 32.5 cm, 상단고는 58.5 cm이다.


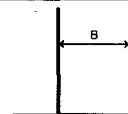
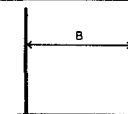
Fig. 3은 실험에 사용된 모형 중 유공율( $E$ ) 40%, slit 수( $N$ ) 3인 유공벽 모형의 자세한 제원을 나타낸 것이다. 유공벽 모형의 전체 폭은 117.5 cm이며, 이것을 조립할 수 있도록 제작된 방파제 틀의 양측 아크릴판의 두께(1 cm)를 더하면 119.5 cm가 된다. 단면수로의 폭은 120 cm이나, 실험의 용이성을 위하여 약간의 여유를 두고 제작하였다. 유공벽은 중 slit형으로 유공부를 제작하였으며, 유공부의 길이는 26 cm로 하였다. 본 연구에서 설정한 유공율은 하나의 격실에 대한 유공율로서 유수실내 격벽의 두께를 제외한 것이다. 본 실험에서는 1 cm 두께의 격벽을 설치하였기 때문에 하나의 격실에 대해 유공율을 산정해 보면, 유공부 면적  $156 \text{ cm}^2$ (유공부 폭 2 cm  $\times$  유공부 높이 26 cm  $\times$  3개), 하나의 격실면적  $384.8 \text{ cm}^2$ (격실폭  $(15.8 \text{ cm}^{-1} \text{ cm}) \times$  유공부 높이 26 cm)이므로  $E=156/384.8=40.5\%$ 이다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 3개의 slit마다 간격을 크게 하여 실제 방파제 설계 및 시공에서 유공벽에 미치는 파력을 지지하기 위해 설치되는 격벽의 설치공간으로 설정하였다. 또한, 유공벽 하단에서부터 21.5 cm의 높이까지는 무공부로 처리하여 이곳에 골재 등을 채워 내습파에 저항할 수 있는 케이스의 중량을 확보하는 공간으로 설정하였다. 이와 같은 유공벽의 형태는 이론적인 연구 등에서 적

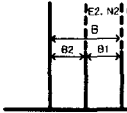
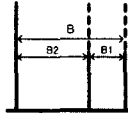
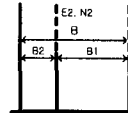
용한 형태(무공부 없이 유공벽 전체를 유공부로 설정한 형태)와는 다른 것으로 실제 방파제를 설계할 때 적용될 수 있도록 현장 적용성을 고려한 것이다.

실험을 위해 제작한 유공벽의 유공율( $E$ )은 20%(slit 수: 3개), 유공율 30%(slit 수: 3개), 유공율 40%(slit 수: 3, 4), 유공율 50%(slit 수: 3, 5), 유공율 60%(slit 수: 4)이다. 여기서, slit 수( $N$ )는 Fig. 3에서 보는 것과 같이 격벽과 격벽 사이의 유공부 수를 의미한다. 같은 유공율에 대해서 slit 수를 다르게 하여 실험한 것은 slit의 폭에 따른 반사 특성의 변화를 검토하기 위한 것이다. 그리고 유수실의 수는 1개(유공 1실)와 2개(유공 2실)에 대하여 실험을 실시하였다. 유공 1실 실험은 전면벽에 유공율과 slit 수가 서로 다른 여러 종류의 유공벽을 차례로 설치하고, 후면벽으로 설치되는 무공의 아크릴판을 이동하여 유수실 폭( $B$ )을 조정하였다. 유공 2실에 대한 실험은 전면벽에 1개의 유공벽을 설치하고, 전면 유공벽과 후면 무공벽 사이에 1개의 유공간벽을 설치한 형태이며, 각각의 유공율과 slit 수를 달리하며 실험을 실시하였다. 유수실 폭은 유공벽 전면에서 무공벽 전면까지의 폭을 의미하며, 유수실 폭은 유공 1실의 경우에 15 cm, 30 cm, 45 cm를 적용하였고, 유공 2실의 경우에는 전면 유수실 폭( $B_1$ )과 후면 유수실 폭( $B_2$ )을 ( $B_1=15 \text{ cm}$ ,  $B_2=15 \text{ cm}$ ), ( $B_1=15 \text{ cm}$ ,  $B_2=30 \text{ cm}$ ), ( $B_1=30 \text{ cm}$ ,  $B_2=15 \text{ cm}$ )로 설정하여 각각의 조합에 따른 서로 다른 유공율( $E_1$ ,  $E_2$ )과 slit 수( $N_1$ ,  $N_2$ )를 적용하여 반사특성을 분석하였다. 본 연구에서 설정한 자세한 실험안은 Table 2 및 Table 3과 같다.

**Table 2.** Test cases of slit caisson with single chamber

					
유공 1실 유수실 폭(B): 15 cm		유공 1실 유수실 폭(B) 30 cm		유공 1실 유수실 폭(B): 45 cm	
전면벽(유공벽)		전면벽(유공벽)		전면벽(유공벽)	
유공율(E)	slit 수(N)	유공율(E)	slit 수(N)	유공율(E)	slit 수(N)
20%	3	20%	3	20%	3
30%	3	30%	3	30%	3
40%	3	40%	3	40%	3
50%	3	50%	3	50%	3
40%	4	40%	4	40%	4
60%	4	60%	4	60%	4
50%	5	50%	5	50%	5

**Table 3.** Test cases of slit caisson with double chamber

											
유공 2실 유수실 폭(B): B1=15 cm B2=15 cm				유공 2실 유수실 폭(B): B1=15 cm B2=30 cm				유공 2실 유수실 폭(B): B1=30 cm B2=15 cm			
전면벽		유공간벽		전면벽		유공간벽		전면벽		유공간벽	
유공율 (E1)	slit 수 (N1)	유공율 (E2)	slit 수 (N2)	유공율 (E1)	slit 수 (N1)	유공율 (E2)	slit 수 (N2)	유공율 (E1)	slit 수 (N1)	유공율 (E2)	slit 수 (N2)
20%	3	30%	3	20%	3	30%	3	20%	3	30%	3
20%	3	40%	3	20%	3	40%	3	20%	3	40%	3
20%	3	40%	4	20%	3	40%	4	20%	3	40%	4
20%	3	50%	3	20%	3	50%	3	20%	3	50%	3
20%	3	50%	5	20%	3	50%	5	20%	3	50%	5
30%	3	40%	3	30%	3	40%	3	30%	3	40%	3
30%	3	40%	4	30%	3	40%	4	30%	3	40%	4
30%	3	20%	3	30%	3	20%	3	30%	3	20%	3
40%	3	20%	3	40%	3	20%	3	40%	3	20%	3
40%	3	30%	3	40%	3	30%	3	40%	3	30%	3
40%	4	20%	3	40%	4	20%	3	40%	4	20%	3

### 3. 유공 1실 실험결과

유공 1실 실험은 유수실의 폭(B)을 15 cm, 30 cm, 45 cm로 변화시키고, 실험파의 주기를 0.8 sec~2.4 sec까지 변경시키며 실험을 수행하였다. 실험결과는 유공케이슨 방파제의 반사율( $K_R$ )에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 유수

실 폭(B)과 입사파 파장( $L_s$ )의 비( $B/L_s$ )에 대한 반사율의 변화로 도시하였으며, 본 연구에서는  $B/L_s=0.03\sim0.45$  범위에 대하여 실험을 실시하였다. 입사파의 파장( $L_s$ )은 유의주기( $T_s$ )를 선형분산방정식에 대입하여 계산하였으며, 모형방파제 설치위치에서의 수심을 적용하였다. 그리고 유공율(E)은 20%, 30%, 40%, 50% 및 60%를 적용하였고,

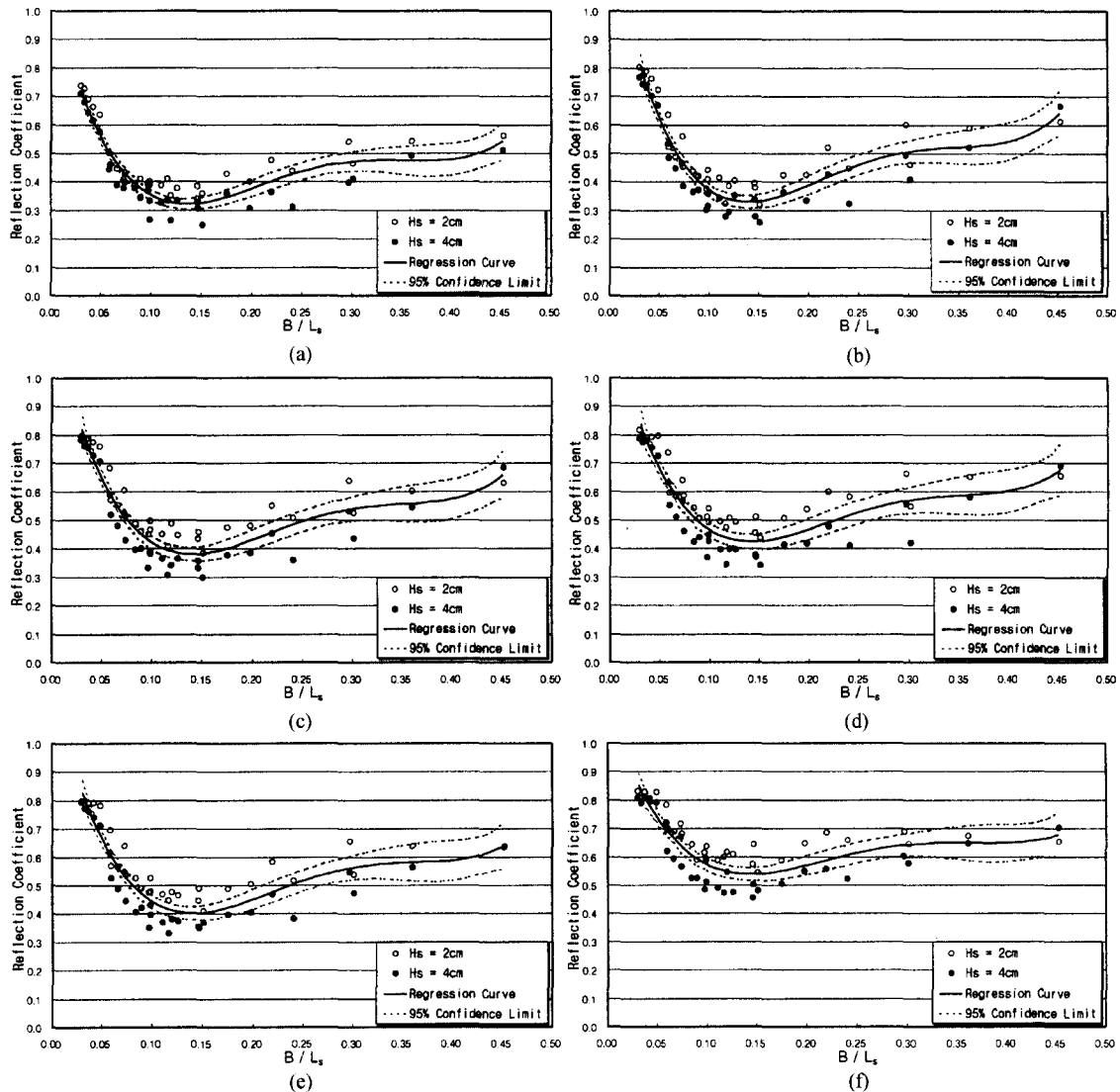


Fig. 4. Reflection coefficients of single chamber; (a) E=20%, N=3, (b) E=30%, N=3, (c) E=40%, N=3, (d) E=50%, N=3, (e) E=40%, N=4, (f) E=60%, N=4.

slit 수(N)를 변화시키며, 즉 유공부의 폭을 변화시키며 실시하였다. 실험결과를  $B/L_s$ 의 변화에 대한 반사계수로 도시함과 동시에 반사율 실험결과에 대해 4차 다항식으로 회귀분석을 실시하여 최적곡선과 95%의 신뢰도를 가지는 신뢰구간을 함께 도시하였다.

Fig. 4는 유공 1실 방파제의 반사율 실험결과를 나타낸 것이다. 기존 연구결과들과 마찬가지로 전체적으로 파형 경사( $H/L_s$ )가 작은 경우에 반사율이 약간 크게 나타났으며,  $B/L_s=0.13\sim 0.15$  범위에서 가장 낮은 반사율을 보였다.

기존의 규칙파를 적용한 실험결과나 이론적 결과에서는  $B/L=0.2\sim 0.25$ 에서 최소의 반사율을 보인다. 이는 입사하는 파와 유공벽을 통과하여 무공벽에서 반사된 파가 유수실 내에서 위상이 반대가 되어 에너지가 감소되기 때문이다. 본 연구에서는 실제 해역조건으로 실험을 실시한다는 전제하에 실험을 수행하였기 때문에 불규칙파를 대상으로 수행하였다. 따라서 최소 반사율이 나타나는  $B/L_s$ 이 서로 다르게 나타난 것으로 판단되며, 최소 반사율이 나타나는  $B/L_s$ 이 작을수록 실무에서의 적용성은 높아진다고 할 수 있다.

방파제 건설시 동일한 해역조건에서 요구되는 반사율을 확보하고자 할 때 내습파의 파장은 일정하므로  $B/L_s$ 이 작을수록 방파제의 폭을 줄일 수 있어 경제적인 설계가 가능하다. 그러나 방파제의 폭은 내습파에 저항하는 체재 중량의 확보에 가장 중요한 요소이므로 방파제에 작용하는 파력을 동시에 고려하여 설계하여야 한다. 반사율이 최소가 되는  $B/L_s \approx 0.15$ 를 기준으로  $B/L_s$ 이 0.15보다 작아질 경우, 즉 입사파의 파장이 길어질 경우에 급격한 반사율의 증가가 발생한다. 그리고  $B/L_s$ 이 0.15보다 커질 경우, 즉 입사파의 파장이 짧아 질 경우에는 반사율이 완만하게 증가함을 알 수 있다. 이처럼 반사율의 전반적인 변화양상은 유공율과 slit 수가 변화여도 반사계수의 크기에 차이가 있을 뿐이며, 전반적으로 같은 경향을 나타낸다.

Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 slit 수가 3개이고, 유공율이 각각 20%와 30%인 유공 1실 단면에 대한 실험결과를 나타낸 것이다.  $B/L_s \approx 0.15$  부근에서 반사율이 가장 낮았으며,  $K_R=0.25\sim0.4$  범위를 보인다. Fig. 4(c)와 Fig. 4(d)는 slit 수가 3개이고, 유공율이 각각 40%와 50%인 유공 1실 단면에 대한 실험결과를 도시한 것이다.  $B/L_s \approx 0.15$ 에서  $E=40\%$ 의 경우에  $K_R=0.3\sim0.45$ 이고,  $E=50\%$ 의 경우에는  $K_R=0.35\sim0.5$ 이다. Fig. 4(e)와 Fig. 4(f)는 slit 수가 4개이고, 유공율이 각각 40%와 60%인 유공 1실 단면에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 전체적인 반사특성은 다른 실험결과와 유사하지만 유공율이 증가할수록 반사율이 증가함을 알 수 있다.  $E=60\%$ 인 경우에는 반사율의 최소값이  $K_R=0.45\sim0.65$ 의 범위로 나타난다. Fig. 4에서 볼 수 있는 것과 같이 유공율이 50% 이상의 경우에는 파랑에너지의 소파효과를 크게 기대하기 어렵다는 小川과 時川(1976)의 연구결과와 일치함을 알 수 있다.

Fig. 5는 유공 1실의 단면을 대상으로  $E=50\%$ 인 경우에 slit 폭을 변화시키며 실험한 결과를 도시한 것이다. slit 수는 3개와 5개이며, 동일한 유공율 조건에서 slit 수가 작을수록 slit의 폭은 상대적으로 넓다. 실험결과를 살펴보면 실험파고에 관계없이 slit 수가 작은 경우, 즉 slit의 폭이 넓은 경우가 더 낮은 반사율을 보임을 알 수 있다. 그러므로 본 실험에서도 井田과 久保(1975)의 연구결과와 같이 동일한 유공율 조건에서 slit 폭이 넓을수록 소파효과가 우수하다는 결론을 얻을 수 있다.

#### 4. 유공 2실 실험결과

유공 2실 형태의 유공방파제를 대상으로 소파효과가 우

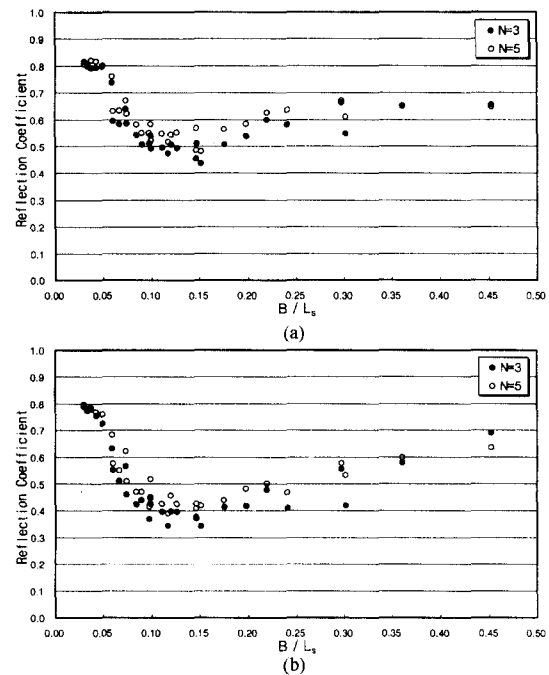
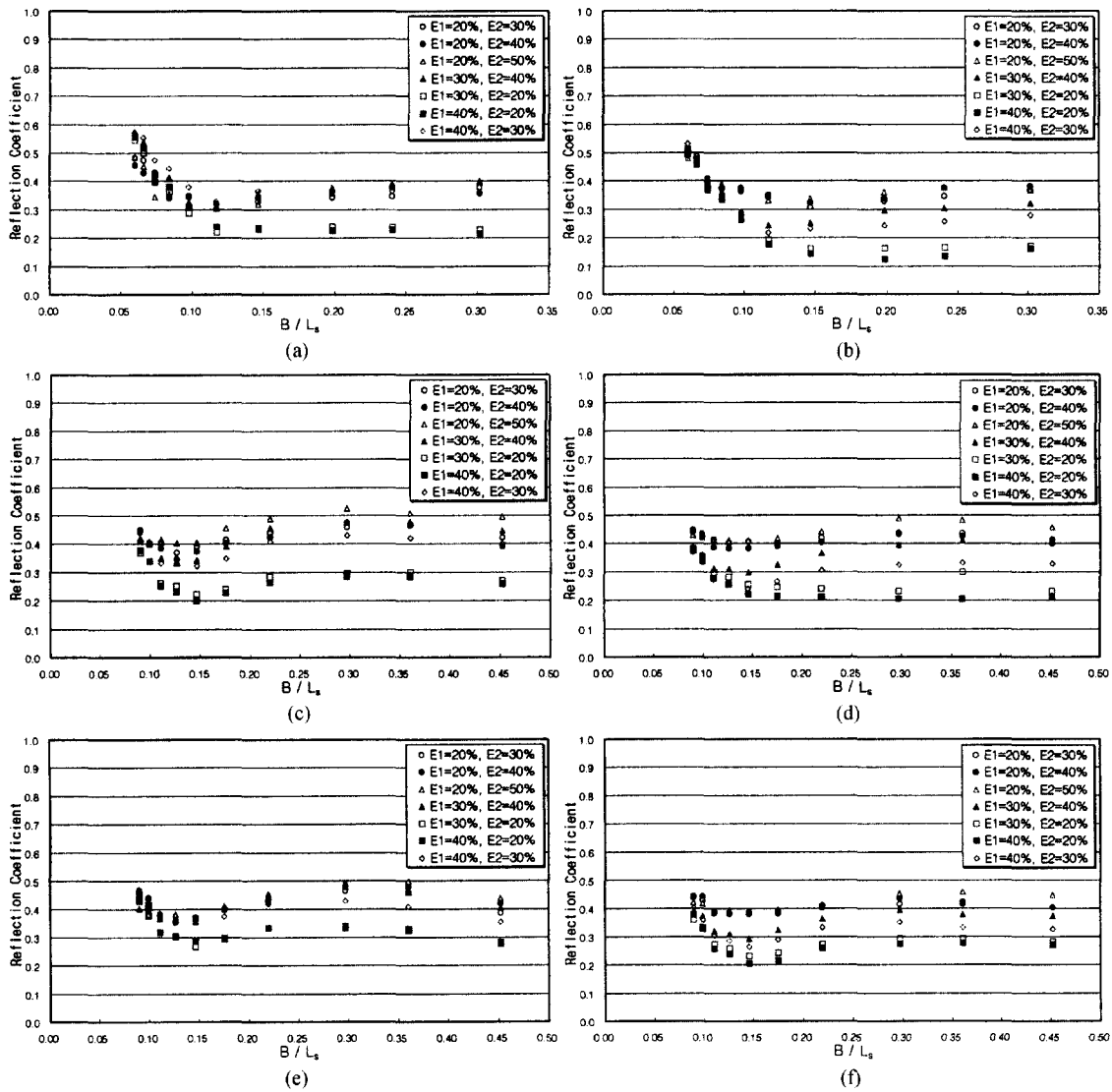


Fig. 5. Comparison of reflection coefficients varying with slit number of perforated-wall for single chamber; (a)  $H_s=2$  cm,  $E=50\%$ , (b)  $H_s=4$  cm,  $E=50\%$ .

수한 유공율의 조합을 도출하기 위해 전면벽과 유공간벽의 유공율 조합에 따른 반사특성을 비교하였다. 전면벽의 유공율( $E_1$ )은 20%, 30%, 40%이고, 유공간벽의 유공율( $E_2$ )은 20%, 30%, 40%, 50%인 경우에 대해 분석하였으며, 3개의 slit 수( $N_1$ 과  $N_2$ )를 가지는 유공벽을 대상으로 하였다. 실험결과는 일정한 실험안, 즉  $B_1=15$  cm,  $B_2=15$  cm인 경우와  $B_1=15$  cm,  $B_2=30$  cm인 경우, 그리고  $B_1=30$  cm,  $B_2=15$  cm인 경우로 구분하여 실험파고별로 반사율을 비교하였다.

Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)는  $B_1=15$  cm,  $B_2=15$  cm에 대한 결과이고, Fig. 6(c)와 Fig. 6(d)는  $B_1=15$  cm,  $B_2=30$  cm에 대한 결과이며, Fig. 6(e)와 Fig. 6(f)는  $B_1=30$  cm,  $B_2=15$  cm인 경우에 대한 결과이다. 실험결과를 살펴보면 전체적으로  $E_1=30\%$ ,  $E_2=20\%$ 이거나  $E_1=40\%$ ,  $E_2=20\%$ 인 경우에 반사율 저감효과가 가장 우수하게 나타났다. 그 외 유공율의 조합에 따른 실험안은 유사한 반사특성을 보이지만 전면벽의 유공율( $E_1$ )이 20%인 경우가 가장 소파효과가 작은 것으로 나타났다. 그리고 파형경사가 큰 경우가 작은 경우보다 반사율이 낮게 나타났으며, 두 경우 모두  $B/L_s \approx 0.15$ 에서 최소 반사율을 보였다.

Fig. 7은 유공 1실과 유공 2실의 반사율을 비교 도시한



**Fig. 6.** Comparison of reflection coefficients varying with porosity of perforated-wall for double chamber. (a)  $H_s=2$  cm,  $B_1=15$  cm,  $B_2=15$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (b)  $H_s=4$  cm,  $B_1=15$  cm,  $B_2=15$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (c)  $H_s=2$  cm,  $B_1=15$  cm,  $B_2=30$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (d)  $H_s=4$  cm,  $B_1=15$  cm,  $B_2=30$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (e)  $H_s=2$  cm,  $B_1=30$  cm,  $B_2=15$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (f)  $H_s=4$  cm,  $B_1=30$  cm,  $B_2=15$  cm,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ .

것이다. Fig. 7(a)와 Fig. 7(b)는 유공 1실의 전면벽 유공율(E)이 20%이고, 유공 2실의 경우에는 전면벽 유공율(E1)이 20%인 경우로서 전체적으로 유공 1실의 반사율이 약간 작게 나타남을 볼 수 있다. 반면에 Fig. 7(c)와 Fig. 7(d)는 유공 1실의 유공율과 유공 2실의 전면벽 유공율이 30% 이상인 경우로서  $E=E_1=20\%$ 인 경우와는 달리 유공 2실의 소파효과가 우수하게 나타난다. 특히,  $B/L_s$ 이 0.15

보다 큰 조건에서 유공 2실의 반사계수가 거의 일정한 경향을 보인다. 전면벽의 유공율이 20%인 경우에 유공 2실의 반사율이 크게 나타난 것은 전면벽의 유공율이 작아 전면벽에서 입사파의 반사가 크기 때문인 것으로 판단된다. 그러므로 유공 2실의 경우에 전면벽의 유공율을 충분히 크게(대략 30% 이상)하여 유공간벽과 후면 유수실에서의 소파작용을 유도할 수 있도록 하여야 할 것으로 생각된다.



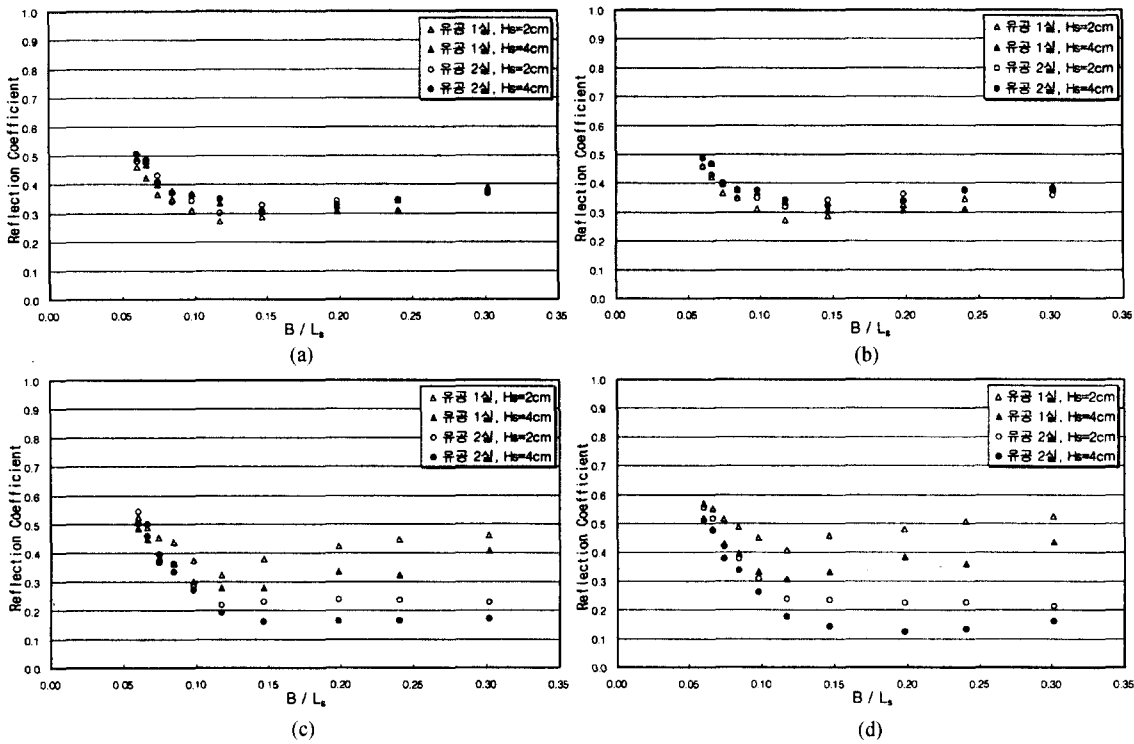


Fig. 7. Comparison of reflection coefficients for single and double chamber; (a)  $E=20\%$ ,  $B=30\text{ cm}$ ,  $N=3$  vs.  $E_1=20\%$ ,  $E_2=30\%$ ,  $B_1=15\text{ cm}$ ,  $B_2=15\text{ cm}$ ,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (b)  $E=20\%$ ,  $B=30\text{ cm}$ ,  $N=3$  vs.  $E_1=20\%$ ,  $E_2=40\%$ ,  $B_1=15\text{ cm}$ ,  $B_2=15\text{ cm}$ ,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (c)  $E=30\%$ ,  $B=30\text{ cm}$ ,  $N=3$  vs.  $E_1=30\%$ ,  $E_2=20\%$ ,  $B_1=15\text{ cm}$ ,  $B_2=15\text{ cm}$ ,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ , (d)  $E=40\%$ ,  $B=30\text{ cm}$ ,  $N=3$  vs.  $E_1=40\%$ ,  $E_2=20\%$ ,  $B_1=15\text{ cm}$ ,  $B_2=15\text{ cm}$ ,  $N_1=3$ ,  $N_2=3$ .

기존 연구결과를 분석해 보면 유공 1실 방파제와 유공 2실 방파제의 소파효과에 대해 서로 다른 결과를 보인다. 이는 본 실험결과에서 살펴본 바와 같이 유공율에 따라 서로 다른 소파특성을 보이기 때문이며, 유공율을 적절히 조합할 경우에 유공 2실의 소파효과가 유공 1실보다 우수할 것으로 판단된다.

### 5. 결 론

유공케이슨식 방파제를 설계하기 위해 필요한 여러 가지 항목 중 본 연구에서는 유공율과 유수실 폭의 관계에 따른 반사율 측정에 중점을 두어 불규칙파를 적용한 단면 수리모형실험을 실시하였다. 유공방파제의 반사특성 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

유공 1실에 대한 반사특성을 분석한 결과, 기존 연구결과들과 마찬가지로 전체적으로 파형경사가 작은 경우에 반사율이 크게 나타났다. 규칙파를 적용한 기존 실험결과나

이론적 결과에서는 유수실 폭과 입사파 파장의 비인  $B/L=0.2\sim0.25$ 에서 최소의 반사율을 보인 반면, 불규칙파를 적용한 본 연구에서는  $B/L_s=0.13\sim0.15$  범위에서 가장 낮은 반사율을 보였다. 유공 2실의 경우에도 유공 1실의 결과와 마찬가지로 최소 반사율은  $B/L_s=0.12\sim0.15$  범위에서 나타났으며, 전체적인 반사율은 유공 1실의 경우보다 작게 나타났다. 유공 2실의 반사율은 0.3~0.5의 범위를 가지며, 전면벽의 유공율이 30%와 40%인 경우에 반사율이 낮게 나타났으며, 동일한 유공율 조건에서 slit 폭이 넓을수록 소파효과가 우수하였다. 그리고 유공율을 적절히 조합할 경우에 유공 2실의 소파효과가 유공 1실보다 우수할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

안익성, 1992. 중 Slit형 유공방파제의 수리특성에 관한 실험적연구, 석사학위논문, 부산대학교.

- 이용규, 편종근, 안수환, 1986. 유공방파제에 대한 연구, 한국수자원학회지. 19권, 2호, pp. 131-137.
- 편종근, 1980. 유공 Caisson식 방파제에 작용하는 파력에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교.
- Fugazza, M. and Natale, L., 1992. Hydraulic design of perforated breakwater, *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 118, No. 1. pp. 1-14.
- Goda, Y. and Suzuki, Y., 1976. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, *Proc. 15th Inter. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 828-845.
- Suh, K.D. and Park, W.S., 1995. Wave reflection from perforated-wall caisson breakwater, *Coastal Engineering*, Vol. 26, pp. 177-193.
- Williams, A.N., Mansour, A.E.M. and Lee, H.S., 2000. Simplified analytical solution for wave interaction with absorbing-type caisson breakwater, *Ocean Engineering*, Vol. 27, pp. 1231-1248.
- 小川達彦, 時川和夫, 1976. 多孔型ケソンタイプ消波防波堤の特性, 第23回 海岸港灣工学講演會論文集, 日本土木學會, pp. 106-111.
- 井田康夫, 久保弘一, 1975. スリット構造による波浪の減殺作用について, 第22回 海岸港灣工学講演會論文集, 日本土木學會, pp. 545-549.

---

Received June 13, 2001

Accepted November 30, 2001